

교량에서 발생하는 저주파진동 측정을 위한 가속도계 개발 Development of an Accelerometer for Measuring Low Frequency Vibration in Bridge

박경조 · 최남섭

K. J. Park and N. S. Choi

Key Words : Strain-gauge Type Accelerometer(스트레인게이지형 가속도계), Cross Beam(십자형 보), Linearity(선형성)

Abstract : In this paper, the strain-gauge type accelerometer is developed. This type of accelerometer has simple structure and cost for manufacturing is cheap, compared with other types of accelerometer such as piezoelectric, capacitance and servo, etc. Also it is very sensitive to the low frequency vibration which is the prominent characteristics of the vibration occurring by vehicles moving across a bridge. Two prototype accelerometers are designed and manufactured based upon the FE(Finite Element) method and static and dynamic calibration tests are performed to check out the linearity, sensitivity and cross sensitivity, etc. Experimental results designate that the proposed accelerometer show reasonable performances compared to the commercial one.

1. 서 론

교량이나 건축물과 같은 구조물에 발생하는 충격이나 진동을 측정하기 위해서는 이들 물리적인 양을 전기적인 신호로 변환시키는 센서가 필요하다. 이러한 센서로는 가속도계가 널리 사용되고 있는데, 가속도계는 측정원리에 따라 여러 종류가 개발되어 왔다. 대표적인 예로는, 압전형(piezoelectric type), 용량형(capacitance type), 스트레인게이지형(strain-gauge type), 그리고 최근에는 서보형(servo type) 가속도계가 사용되고 있다^{1~3)}.

일반적으로 이러한 가속도계는 측정주파수, 온도 특성, 감도 등의 측정조건에 따라서 구별된다. 압전형은 압전소자가 가속도 등에 의해 힘을 받게 되면 이 힘에 비례하는 전하가 발생하게 되며, 이를 측정하여 가속도의 크기를 측정하는 방식이다.

이 형식의 가속도계는 자체의 고유진동수가 높기 때문에 넓은 주파수 범위에서 사용이 가능하지만, 저주파수 또는 정적 가속도의 측정이 곤란하며, 소재 자체의 특성 때문에 온도의 영향이 크다

는 단점이 있다. 용량형은 가속도 감지 질량의 변위를 커패시턴스(capacitance)를 이용하여 측정하게 되며, 측정할 수 있는 주파수범위와 가속도의 크기가 다른 가속도계에 비해 작다는 단점이 있다. 스트레인게이지형은 질량체가 운동을 할 때, 이를 지지하고 있는 스프링에 발생하는 변형률을 스트레인게이지를 이용하여 측정함으로써 가속도를 측정하는 방식으로, 감도가 낮기 때문에 가속도계의 고유진동수를 높이는 데에는 한계가 있으나 압전형에 비해 저주파수에서의 가속도 측정이 가능한 장점이 있다.

한편 서보형 가속도계는 폐회로 피드백(feed back)을 이용하여 가속도에 의해 발생하는 진자의 변위에 상응하는 복원력을 가하여 진자가 항상 영점에 위치하도록 한 후, 이 복원력을 전기적 신호로 변환하여 가속도를 측정하게 된다. 이 방식은 전기적인 스프링을 사용하므로 선형성이 뛰어나고 정밀한 장점이 있지만 제작비용이 고가인 단점이 있다⁴⁾.

교량에서 발생하는 가속도는 자동차나 기타 기계구조물의 경우와는 달리 비교적 저주파수의 특성을 보이며, 가속도의 크기도 작고, 또한 주위 온도 등과 같은 측정환경도 매우 가혹하다^{5~7)}. 따라서 본 연구에서는 구조가 간단하고 저가이며 저주파수에서의 특성이 비교적 좋은 스트레인게이지형

접수일 : 2003년 1월 5일
박경조(책임저자) : 여수대학교 공과대학
E-mail : kjpark@yosu.ac.kr Tel. 061-659-3221
최남섭 : 여수대학교 공과대학

가속도계를 제작하고자 한다.

2. 가속도계의 설계 및 제작

가속도의 정밀한 측정을 위해서는 무엇보다 선형성과 고감도의 성능이 요구된다. 교량에서 발생하는 가속도는 비교적 저주파수이므로, 가속도계의 스프링 고유진동수를 낮추어 스프링의 강성이 작아지도록 함으로써 감도를 높이고, 측정방향 이외의 감도를 낮추기 위해 측정방향 이외의 방향에 대해서는 강성을 높일 필요가 있다. 또한 측정하고자 하는 구조물에 센서가 미치는 영향을 작게 하기 위해서는, 작고 가벼운 센서가 요구되나, 교량의 경우 그 크기나 무게가 가속도계에 비해 매우 크므로 가속도계의 크기나 무게에 대한 조건은 크게 중요하지 않다. 따라서 가속도계의 크기보다는 감도를 중심으로 설계한다.

2.1 가속도계의 응답특성

본 연구에서 제작한 스트레인게이지형 가속도계는 Fig. 1에서 볼 수 있는 바와 같이 가속도를 받는 가속도계와 질량의 상대운동을 감지하는 구조로 되어 있으며, 스프링의 변형을 감지하는 형식이다.

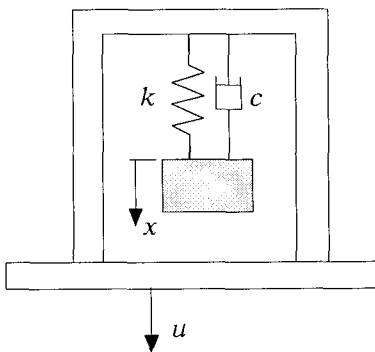


Fig. 1 Concept of an accelerometer

이 경우 운동방정식은 다음과 같이 정리된다. 가속도계 프레임의 변위를 u , 질량체의 변위를 x 라 하고, 프레임이 다음 식으로 표현되는 조화운동을 하는 것으로 생각한다.

$$u = U \sin \omega t \quad (1)$$

그러면 질량체의 운동방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$-k(x-u) - c(\dot{x} - \dot{u}) = m\ddot{x} \quad (2)$$

x 와 u 의 상대변위 z 를 $z=x-u$ 로 정의하면 식 (2)는

$$m(\ddot{z} + \ddot{u}) + c\dot{z} + kz = 0$$

$$m\ddot{z} + c\dot{z} + kz = mU\omega^2 \sin \omega t \quad (3)$$

와 같이 된다. 정상상태에서 상대운동은 다음과 같은 프레임의 운동을 따른다.

$$z = Z \sin(\omega t - \phi) \quad (4)$$

이로부터 Z/U 는 다음과 같이 정리된다.

$$\frac{Z}{U} = \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right)^2 + \left(2\xi\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \quad (5)$$

여기서 $\xi = c/(2m\omega_n)$ 이다. 그리고 위상차는 다음과 같이 된다.

$$\phi = \tan^{-1} \frac{2\xi\frac{\omega}{\omega_n}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \quad (6)$$

Fig. 2에는 감쇠비 ξ 에 따른 Z/U 의 변화를 보여주고 있다. $\omega/\omega_n \ll 1$ 이라면 식 (5)의 오른쪽 항의 분모는 근사적으로 1이 되며, ω_n^2 은 일정한 값으로, 이 경우 $Z/U = (\omega/\omega_n)^2$ 로 표현되며, 이것은 Fig. 2의 점선으로 표시되어 있다. 이 경우 $Z = \omega^2 U / \omega_n^2 = \text{가속도} / \omega_n^2$ 가 되고, ω_n^2 은 상수이므로 Z 는 측정하고자하는 운동의 가속도에 비례한다. 따라서 점선과 같은 기울기를 갖는 감쇠비 및 주파수범위에서 가속도계의 선형성을 보장할 수 있다. 이로부터 Fig. 2에서 감쇠는 $0.5 < \xi < 0.7$ 의 범위가 적합하다는 것을 알 수 있으며 이와 같은 가속도를 이용하여 주파수 $\omega/\omega_n < 0.8$ 의 범위에서 측정할 수 있음을 알 수 있다.

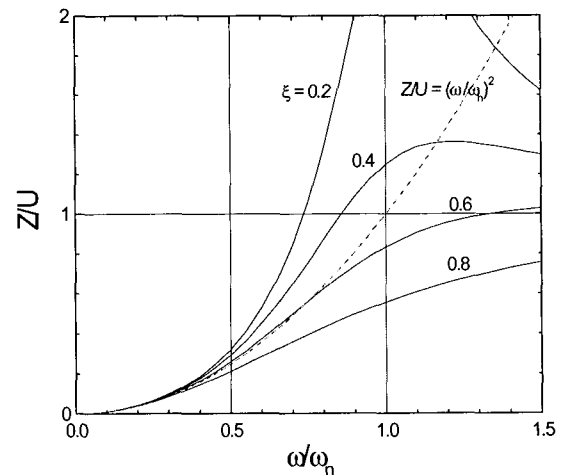


Fig. 2 Variation of Z/U vs. damping ratio

2.2 가속도계 설계

이상적인 가속도계는 다음과 같은 조건을 만족해야 한다. 즉 ① 가속도의 정확한 측정을 위한 정확성 및 고분해능(high resolution)이 요구되고, ② 측정하고자 하는 부분이 센서에 미치는 영향을 무시할 수 있도록 크기가 작고 무게도 가벼워야 하며 ③ 강성이 작으면 가속도계로부터 측정된 신호는 불안정하게 되므로, 정확한 신호를 감지하기 위해서는 높은 강성률(high rigidity)이 필요하며 ④ 앞에서 기술한 바와 같이 감쇠계수의 값이 $0.5 < \xi < 0.7$ 을 만족해야 한다.

①의 조건을 만족하기 위해서는 스프링보가 탄성적으로, 동시에 선형적으로 변형되어야 하며, 낮은 잡음정도(noise level)가 요구된다. 또한 측정방향 이외의 가속도에 대해서는 높은 강성을 가져야 한다. 사용 주파수범위를 넓히기 위해서는 높은 고유진동수가 요구되는 반면, 고유진동수가 높아지면 높은 강성의 스프링이 필요하게 되어 ①에서 기술된 고분해능 조건에 상반된다. ④의 조건을 만족하기 위해서는 오일감쇠(oil damping)를 이용한다.

앞에서 논의된 요구조건 ①, ②, ③을 만족시키기 위해 다음과 같은 가속도계를 설계하였다. 설계한 가속도계의 구조는 Fig. 3에 나타내었다. 부품은 십자형 보(cross beam), 위아래 덮개와 케이스, 그리고 질량체로 구성되어 있다. 가속도계에서 스프링 역할을 하는 보는 가속도계의 감도와 안정성을 결정하는 가장 중요한 요소로서, 본 연구에서는 횡방향의 감도를 줄이기 위해 Fig. 4(a)와 같은 십자형태의 보를 사용하였다. 또한 십자형 보의 사용으로 인한 감도의 감소를 보상하기 위해 높은 모멘트가 걸리도록 Fig. 4(b)와 같이 스트레인 측정부에 응력집중 현상을 이용한 보도 설계하였다. 이들 두 가지 보를 각각 Beam 1, Beam 2라 하고 이들 보를 이용한 가속도계를 각기 가속도계 1, 가속도계 2라 하였다. 보의 상세치수는 보의 공진주파수와 스트레인게이지 부착부의 발생변형률, 그리고 보에 발생하는 최대응력을 고려하여 결정한다.

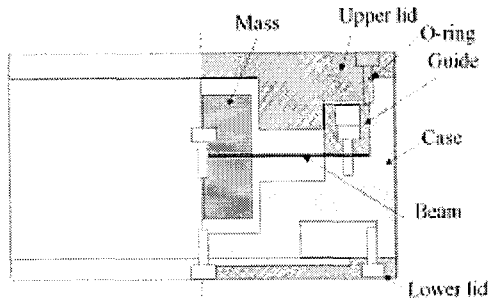
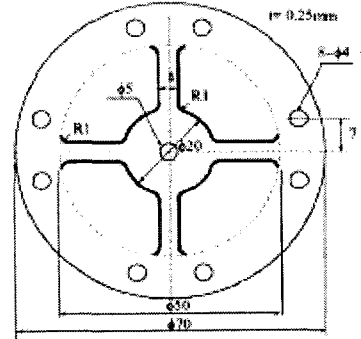
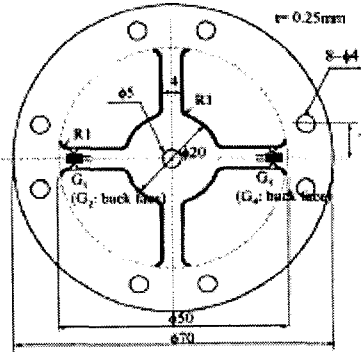


Fig. 3 Schematics of the designed accelerometer

보의 재료로는 베릴리움동(beryllium copper)을 사용하였는데, 이 재료는 탄성계수 E 가 $12500 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$, 0.2% 오프셋 항복강도 S_y 가 $97 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$ 정도인 고강도 재료로서 S_y/E 의 비가 높아 스프링 재료로 적합하다.



(a) Beam 1



(b) Beam 2

Fig. 4 Cross beams for the accelerometer

Fig. 4에 나타난 십자형 보는 양단이 완전히 고정된 보가 4개 있는 경우와 동일하며, 각 보의 수직방향 처짐량 δ 는 다음 식과 같이 표현된다.

$$\delta = \frac{PL^3}{12EI} \quad (7)$$

여기서 P 는 하중, L 은 보의 길이, I 는 보의 단면 2차 모멘트이다. 따라서 이와 같은 보의 탄성계수 k' 는

$$k' = \frac{P}{\delta} = \frac{12EI}{L^3} \quad (8)$$

로 되며, 4개의 보가 있으므로, 전체 스프링 상수 k 는

$$k = 4k' \quad (9)$$

로 된다. 이로부터 고유진동수는

$$\omega_n = \frac{4}{\pi} \sqrt{\frac{3EI}{mL^3}} \quad (10)$$

가 된다. 처짐 δ 일 때의 최대 굽힘모멘트는

$$M = \frac{6EI\delta}{L^2} \quad (11)$$

따라서 보의 최대 발생응력은

$$\sigma_{\max} = \frac{Mh/2}{I} = \frac{3Eh\delta}{L^2} \quad (12)$$

이 된다.

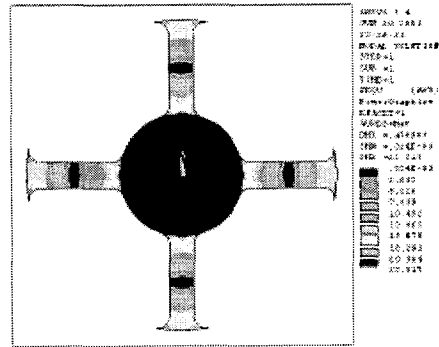
이상의 식을 고려하여 보의 상세치수를 보의 폭 $b = 4(\text{mm})$, 높이 $h = 0.25(\text{mm})$, 길이 $L = 15(\text{mm})$ 로 결정하였으며, 질량체의 무게는 $50(\text{g})$ 으로 하였다. 이 때, 보의 최대 응력은, $22.1(\text{kgf}/\text{mm}^2)$, 고유진동수는 $50(\text{Hz})$ 로 계산되어 본 연구에서 설계된 가속도계의 측정 주파수범위는 약 $\omega < 0.8 \omega_n = 40(\text{Hz})$ 가 된다.

설계된 보에서 응력집중부에 발생하는 최대응력의 크기를 확인하고, 가속도계의 측정감도를 결정하는 스트레인게이지 부착위치를 결정하기 위하여 구조해석을 수행하였다. 구조해석은 ANSYS v5.4를 이용하였으며 총 1505개의 Shell 요소를 사용하였다. 경계조건은 가이드 고정부위를 완전고정시켰으며, 하중조건은 질량체의 자중, 즉 중력가속도 1G에 해당하는 하중에 대하여 해석을 수행하였다.

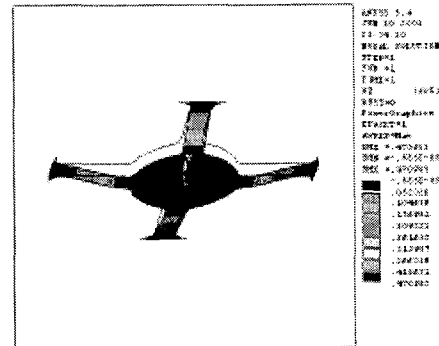
Fig. 5는 그 해석결과로서, Fig. 5(a)는 von Mises 응력을 보여주고 있으며, 최대응력은 $23.5(\text{kgf}/\text{mm}^2)$ 이며, Fig. 5(b)는 수직방향 변위량을 나타내는데 최대 변위는 약 $0.47(\text{mm})$ 임을 알 수 있다. 계산 결과 최대 4G의 가속도일 때, 최대 약 $94(\text{kgf}/\text{mm}^2)$ 의 응력이 발생하게 되며, 이 값은 베릴리움동의 항복응력 $97(\text{kgf}/\text{mm}^2)$ 보다는 작게 되며, 이 때 수직방향 변위량은 $1.88(\text{mm})$ 가 된다.

2.3 가속도계 제작

스트레인게이지의 부착위치는 구조해석결과를 참고로 결정한다. Fig. 6은 하나의 보에 발생하는 축방향 응력에 대한 구조해석 결과로서, Fig. 6(a)는 Fig. 5(a)의 좌측 보의 응력분포이며, Fig. 6(b)는 거리에 따른 응력변화를 보여주고 있다. 이 결과에서 보의 좌우 양단 부근에서 응력 구배가 변하고 있는데 이것은 단면의 변화와 고정부의 영향 때문이다. 변형률의 변화가 클수록, 즉 발생 응력의 크기가 클수록 가속도계의 감도가 커지므로 스트레인게이지의 부착위치는 양단부가 적절함을 알 수 있다. 또한 응력의 구배가 클수록 가속도의 측정오차가 커지게 되는데 응력구배가 변한 이후의 구배가 변하기 전의 구배보다 비교적 크므로, 스트레인게이지 부착위치는 보의 중심에서 약 13~14mm 사이가 적당함을 알 수 있다.

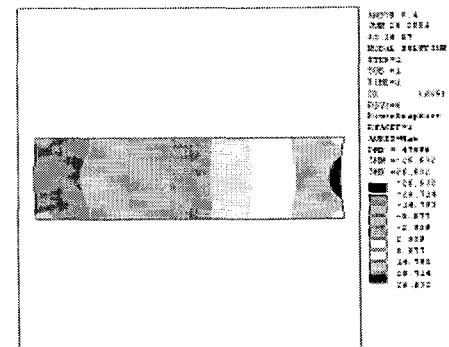


(a) von Mises stress distribution

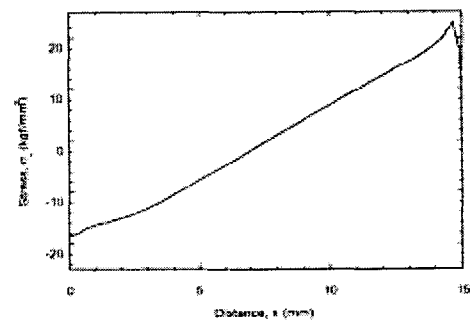


(b) vertical deflection

Fig. 5 Stress distribution and vertical deflection



(a) Stress distribution

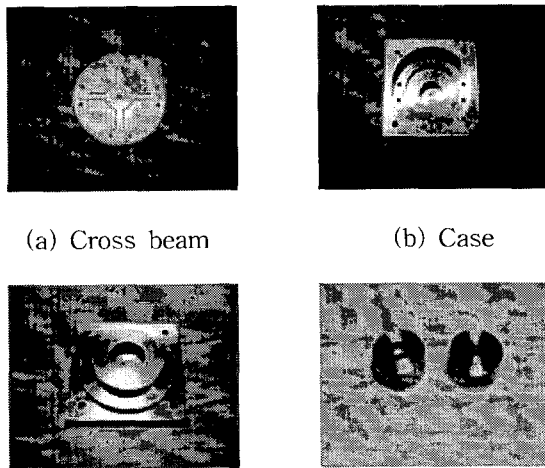


(b) Stress distribution vs. distance

Fig. 6 Axial stress distribution in the left beam

본 연구에서는 이상의 결과를 참고로 좌단부에서 1~2(mm)사이에서 스트레인게이지를 부착하였으며, 유한요소해석을 통해 이 위치에서 1G의 가속도가 발생할 때의 응력은 약 16(kgf/mm²), 변형률은 1280(μm/m)임을 알 수 있었다. 사용된 스트레인게이지는 교와(Kyowa)사의 저항 120(Ω), 게이지 팩터(gage factor) K = 2.1, 게이지 길이 1(mm)의 베릴리움동용 스트레인게이지이다. 스트레인게이지는 각 보의 위와 아래면에 1개씩, 모두 8개를 부착하고 이를 풀브릿지(full bridge) 회로를 구성하여 측정감도를 높였으며, 온도보상을 하였다.

감쇠는 실리콘 오일을 이용하여 점성감쇠(viscous damping)의 형태를 갖도록 하였다. 일반적으로 오일 자체가 온도에 대해 민감한 특성을 가지고 있으므로 온도에 대해 비교적 둔감한 성질을 갖는 실리콘 오일을 이용하였다. 실리콘 오일로는 Dow Corning 200 Fluid 1000CS, 10000CS를 혼합하여 감쇠특성을 0.5 ξ <math>< 0.7</math>의 범위가 되도록 조절하였다. 이상에서 설명한 설계과정에 의해 결정된 상세치수로 가속도계를 사용하였다. 부품은 십자형 보는 위에서 설명한 바와 같이 베릴리움동, 덮개와 케이스는 알루미늄합금, 질량체는 강을 사용하였으며, 제작한 각 부품의 사진은 Fig. 7과 같다.



(a) Cross beam (b) Case
(c) Lid (d) Mass
Fig. 7 Parts for the accelerometer

3. 기능성 시험

기능성 시험은 본 연구에서 설계, 제작된 가속도계를 보정(calibration)하여 가속도계의 특성을 확인하고자 수행한다. 또한 앞에서 설계한 두 종류의

스프링 보로 만든 가속도계의 특성을 비교하며, 현재 사용되고 있는 상용가속도계(Kyowa)와도 성능을 비교, 검토한다.

3.1 정적 보정시험

본 연구에서 제작한 가속도계의 성능을 확인하기 위하여 정적 보정시험을 수행한다. 이 시험으로 가속도계의 범위, 보정상수, 감도, 선형성, 분해능을 검토한다. 2.2절에서 기술한 ①~④의 성질을 얻기 위해 스트레인 브리지(strain bridge)회로에 전압을 가한 다음 고분해능의 전압계를 통해 값을 얻었다. 선형성을 조사하기 위해 가속도계와 같은 질량을 계속해서 더해가며 가속도계의 신호를 측정하였다. 분해능은 다음과 같은 식으로 표시할 수 있다.

$$\text{Resolution} = \frac{\sqrt{2} \times \text{Noise}(s)}{\text{Sensitivity}(\text{volt/g})} \quad (13)$$

상용 가속도계, 가속도계 1, 가속도계 2에 대한 값들이 Table 1에 주어져 있다. 각 스프링 보에 대한 선형성을 조사한 결과는 Fig. 8에 도시하였다.

Table 1 Results for the static calibration

	Commercial Accel.	Accel. 1	Accel. 2
Capacity(g)	5	8	10
Rated Output (μW/V)	1850	1888	770
Rated strain	925×10 ⁻⁶	944×10 ⁻⁶	385×10 ⁻⁶
Calibration constant (g/μW/V)	0.01081	0.00424	0.01299
Noise Level (Volt)	8.43×10 ⁻³	8.45×10 ⁻³	8.45×10 ⁻³
Sensitivity (V/g)	1.91	3.68	1.77
Resolution (gal)	4.31	2.25	4.68

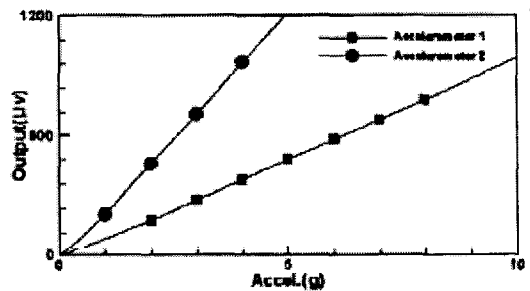


Fig. 8 Linearity for the designed accelerometers

3.2 동적 보정시험

이상적인 가속도계의 경우 식 (5)와 (6), Fig. 2에서 주어진 대로 주파수 응답함수를 얻을 수 있다. 이러한 주파수 응답함수를 얻기 위해 동적 시험기를 이용하여 동적 보정시험을 수행하였다. 실험장치는 Fig. 9에 보인 바와 같으며 입력으로 가진기와 가속도계 사이에 하중계의 신호를, 출력으로 가속도계의 신호를 얻었다. 이에 대한 주파수 응답함수는 Fig. 10과 같다. 그림에서는 저주파수 성분만을 나타내었다.

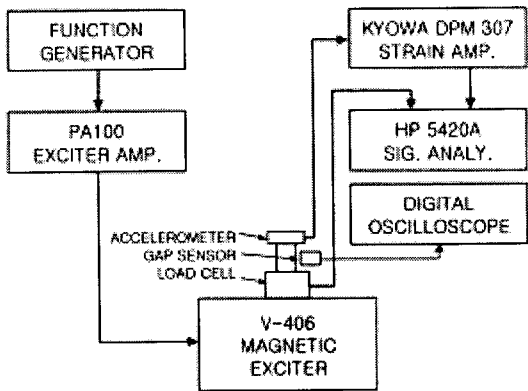


Fig. 9 Schematic diagram for experimental setup

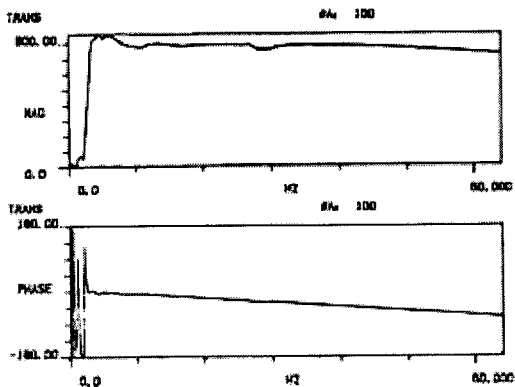


Fig. 10 Frequency response function for accel. 2

Fig. 11은 각각 상용 가속도계와 가속도계 2의 감도 특성 곡선을 나타낸 것이다. 또한 횡감도 (cross sensitivity)도 측정하였다. 주파수를 변화시켜가며 변위측정기(gap sensor)로 변위를 측정하면 축방향의 가속도 즉 $A_{axis}(m/s^2)$ 의 가속도에 대해 가속도계를 횡감도 방향으로 고정시켜 놓으면 축방향의 가속도, A_{axis} 에 대해서 가속도계의 횡방향 감도 V_{cross} 를 측정할 수 있다. 횡감도 $C_{ss}(\%)$ 는

$$C_{ss}(\%) = \frac{V_{cross}}{A_{axis} \times F} \quad (14)$$

로 정의되고 여기서 F 는 적당한 증폭비에 대한 보정상수(calibration constant, V/g)이다. 가속도계 1, 2에 대한 횡감도는 Fig. 12에 나타내었다.

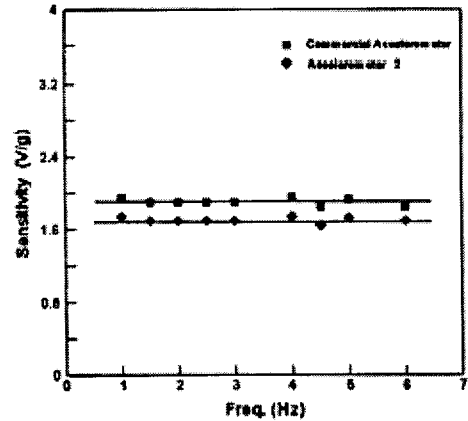


Fig. 11 Sensitivity characteristics

3.3 결과 검토

Fig. 8에서 볼 수 있듯이 선형성을 조사한 결과 스프링 보 2의 경우에 좋은 선형성을 유지하였다. 이는 스프링 보와 질량의 체결방식에 있어서 스프링 보 2의 경우가 훨씬 안정하다는 것을 알 수 있다. 즉 가속도계 1의 경우 접착제를 이용하여 체결하였는데 아래, 위 질량의 배열이 상하 정확히 대칭을 이루기 어렵고 스프링과 질량의 접촉상태가 불안정하다. 이러한 단점을 가속도계 2의 경우 볼트로 체결함으로써 해결할 수 있었다. 이는 Fig. 3의 단면도에 잘 나타나 있다.

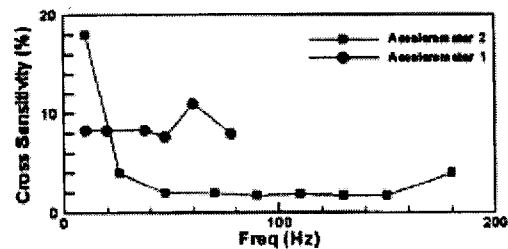
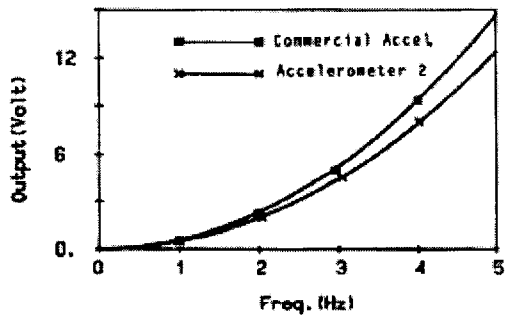


Fig. 12 Cross sensitivity characteristics

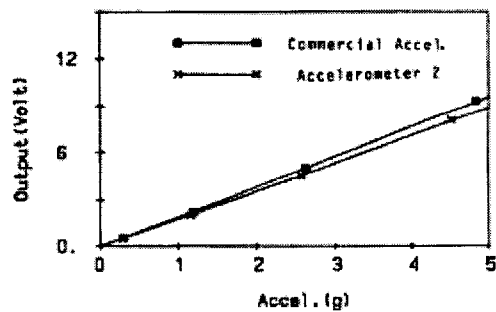
선형성을 다른 방법으로 조사하기 위해 가속도계를 수평 회전 원판 위에 고정시켜 놓고, 회전주파수를 변화시켜 가며 출력감도를 측정하였다. 이때 출력감도는 회전주파수 제곱에 비례하게 된다. Fig. 13은 가속도계 2와 상용 가속도계에 대해 조사한 것으로 (a)는 가속도가 주파수의 제곱에 비례하는 것을 보여주며, (b)는 (a)의 결과로부터 선형성을 확인한 것이다.

횡가진에 대한 주파수 응답특성이 가진기 자체의 횡방향 가진에 민감한 영향을 받으므로, 가속도계 1의 경우에 큰 횡감도의 오차를 보정해주기 위해 횡가진 중에 감도 방향의 변위를 측정하여 보정해 주었다. 가속도계 2의 경우 횡감도는 4(%) 이내이며 가속도계 1의 경우는 8~10(%)로 가속도계 2가 매우 이상적인 특성을 보인다. 설계상 응력 집중으로 인한 불안정성이 클 것으로 예상할 수 있으나 스프링, 질량의 완전 대칭체결, 스트레인이게이지의 정확한 접착이 뒷받침 된다면 본 연구에서 사용된 십자형 보를 사용하여 횡감도 특성으로 인한 오차를 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

스프링 보를 가속도계 몸체에 고정시킨 형태는 Fig. 3의 조립도를 통해 알 수 있다. 이상적인 경우 보고정대(body fixture)와 보가 하나로 구성되어 있다면 확실한 보의 경계조건을 만들 수 있을뿐더러 보고정대의 크기를 줄일 수 있고 따라서 가속도계의 크기를 줄일 수 있다. 또한 확실한 고정조건으로 인해 전체 시스템이 안정을 이룰 수 있다.



(a) Output voltage vs. frequency



(b) Output voltage vs. acceleration

Fig. 13 Linearity of the accelerometers

진동을 측정하고자 하는 지점의 가속도계에 의한 영향을 최소로 줄이기 위해 작은 가속도계, 그리고 가벼운 가속도계가 요구된다. 또한 알맞은 주파수범위에 따라 가속도계의 크기가 결정될 수 있

다. 주파수범위가 넓어지면 상대적으로 더 큰 가속도계가 요구되나, 실제 가공하거나 다루기에는 어려워질 것이다. 정밀 가공을 할 수 있으면 더 작고 가벼운 가속도계의 제작도 가능할 것이다.

본 논문에서 제작한 가속도계의 경우 입력과 출력 저항이 조금씩 다르다. 이는 스트레인 게이지의 저항 자체의 변화와 예스트레인(pre-strain)이 작용하기 때문이다. 즉 스트레인게이지는 하중에 따른 게이지의 저항변화에 의해 스트레인을 측정하는데, 이 때 입력저항과 출력저항이 달라지게 되면 실제 하중에 의한 스트레인에 저항변화에 따른 부가적인 스트레인이 더해져서 측정되게 된다. 따라서 측정된 가속도에 오차가 발생하게 되므로 이를 보정할 필요가 있다. 실제 입/출력 저항이 다르므로 인해 발생하는 문제는 콘스탄탄(Constantan: 구리와 니켈의 합금) 연결로써 보정이 가능하다. 또한 가속도계 내부에 프리앰프를 내장할 수 있다. 그러나 이러한 경우에는 별도의 전원과 IC회로를 포함해야 하므로 가속도계의 크기에 영향을 받는다. 가속도계와는 별도의 장치로 영점 조정장치와 앰프의 설치도 가능할 것이다.

4. 결 론

교량에서 발생하는 저주파진동을 계측하기 위한 스트레인게이지형 가속도계를 설계하고 실제 제작하여 그 성능을 평가하였다. 스트레인 측정부에 응력집중현상을 이용한 십자형 보를 갖는 가속도계가 감도, 횡감도 및 선형성 등에서 상용 가속도계와 비교할 만한 성능을 나타냄을 알 수 있었다.

본 논문에서 제작한 가속도계의 경우 입력과 출력 저항이 조금씩 다르다. 이는 스트레인 게이지의 저항 자체의 변화와 예스트레인이 작용하기 때문이다. 실제 입/출력 저항이 다르므로 인해 발생하는 문제는 콘스탄탄 연결로써 보정이 가능하다.

후 기

본 연구는 한국학술진흥재단 협동연구(과제번호:2000-042-E00134) 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 제우성, 1997, "초정밀 서보형 가속도계의 개발에 관한 연구", 박사학위논문, 한국과학기술원

2. 구경희, 1989, “압전형 가속도계의 설계, 제작 및 보정”, 석사학위논문, 한국과학기술원
3. 이재갑, 1988, “스트레인게이지를 이용한 가속도계의 설계, 제작 및 보정에 관한 연구”, 석사학위논문, 한국과학기술원
4. R. T. Reese and W. A. Kawahara, 1993, “Handbook on Structural Testing”, The Fairmont Press, Lilburn
5. 양경택, 1998, “이동하중을 받는 보의 변위응답 산정을 위한 가속도신호의 적분상 문제점”, 전산구조공학회논문집, 제11권, 제4호, pp. 135~146.
6. 이형진, 1997, “대형구조물의 손상도평가를 위한 부분구조 추정법”, 박사학위논문, 한국과학기술원
7. M. Q. Feng, J. M. Kim and H. Xue, 1998, “Identification of a Dynamic System Using Ambient Vibration Measurements”, Journal of Applied Mechanics, ASME, Vol. 65, No. 4, pp. 1010~1021.
8. C. H. Harris, 1989, “Shock Vibration”, Third edn., McGraw-Hill
9. American Society for Metals, 1979, “Metals Handbook”, Vol. 2
10. P. H. Wirsching, T. L. Paez and H. Oritz, 1995, “Random Vibrations Theory and Practice”, John Wiley & Sons, New York